

## ANEXO A CALDERAS INDUSTRIALES PIROTUBULARES.

### 1.1. DEFINICION

La caldera es un recipiente cerrado en el cual se calienta agua, se genera vapor, se sobrecalienta vapor, o una combinación de las dos operaciones, por medio de la aplicación de calor proveniente de combustibles de un quemador independiente o anexo [1]. Este recipiente de presión es construido en gran parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.



**Figura 1. Caldera Industrial**

Para mantener las variables en correcto funcionamiento se necesitan dispositivos que regulen automáticamente los niveles de trabajo deseados. Las calderas requieren de un estricto cuidado porque son recipientes pasteurizados que contienen un fluido a altas temperaturas superiores a los 100 °C, demandando un continuo seguimiento de operación.

Un número significativo de calderas se encuentran ubicadas en los grandes centros de producción industrial y en algunos casos donde reside población altamente vulnerable a accidentes, explosión e incendio, siendo éstos los principales riesgos de este elemento de ingeniería. Sin embargo, estos riesgos se pueden reducir notablemente cuando se adoptan medidas preventivas como un marco general de exigencias para que cada empresa establezca su propio sistema de prevención.

Las calderas industriales se diseñan para operar a altas presiones de acuerdo a las necesidades en la industria. Estas calderas son ampliamente utilizadas en plantas que realizan calentamiento de fluidos y aire, vaporización, trazado de vapor, generadores de vacío, mantenimiento de otros equipos, generación de

energía; particularmente en cada industria tienen una aplicación como se indica en la Tabla 1[2].

<b>APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS CALDERAS</b>		
<b>Madera</b>	<b>Detergentes</b>	<b>Papel y cartón</b>
-Secaderos de chapa.	-Secaderos de atomización.	-Secaderos.
-Prensas.	-Autoclaves.	-Engomadores.
-Secaderos de tablón.	-Cubas.	-Parafinadoras. -Calandras.
-Fosos de vaporización.		
-Líneas de barnizado.		
-Cabinas de pintura.		
<b>Corcho</b>	<b>Muebles</b>	<b>Textil</b>
-Calderas de cocción.	-Paneles barnizados.	-Rames de termo fijación.
-Acabado de superficies.	-Secaderos.	-Estampadoras.
-Secadero granulado.	-Tratamiento de superficies.	-Calandras.
-Curado de aglomerado.	-Ambientación.	-Baños de tintes.
-Prensas		
-Encoladoras.		
<b>Betunes y asfaltos</b>	<b>Caucho</b>	<b>Química</b>
-Cartón bituminoso.	-Cilindros	-Autoclaves
-Calentamiento de redes.	-Prensa de vulcanizar	-Columnas de destilación
-Calentamiento de masas.	-Hornos de cocción	-Reactores
-Emulsiones.	-Autoclaves.	-Secaderos.
<b>Curtido</b>	<b>Conserva</b>	<b>Alimenticia</b>
-Producción de agua caliente.	-Autoclaves.	-Cocinas industriales.
-Secaderos de vacío.	-Agua caliente.	-Autoclaves.
-Pigmentado.	-Aparatos de cocción.	-Freidoras industriales
-Producción de vapor.	-Producción de vapor.	-Intercambiadores
<b>Hostelera</b>	<b>Metalurgia</b>	<b>Plásticos</b>
-Calandras.	-Desengrase.	-Prensas hidráulicas.
-Lavadoras y secadoras.	-Galvanizado.	-Cilindros.
-Calefacción.	-Tratamiento de superficies.	-Impresoras.
-Agua caliente sanitaria.	-Secado (túneles).	-Termo fijación.

**Tabla 1. Tabla de Aplicaciones de las Calderas Industriales**

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, las más aceptadas en la industria por su eficiencia y bajo precio son las calderas piro-tubulares.

## 1.2. CALDERAS PIRO-TUBULARES O DE TUBOS DE HUMO

En este tipo de calderas el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto de un proceso de combustión. El agua se evapora al contacto con los tubos calientes debido a la circulación de los gases calientes de escape [3].

Pueden diseñarse con diferentes pasos de los tubos de humos por el recipiente con agua. El hogar se considera el primer paso y cada conjunto de tubos en el mismo sentido un paso adicional. Las calderas piro-tubulares suelen trabajar hasta unos 20 bares para unas producciones máximas de unas 20 Tm/hr.

Nota: Se entenderá por calderas industriales de alta presión a aquellas que operan a una presión superior a 1 bar.

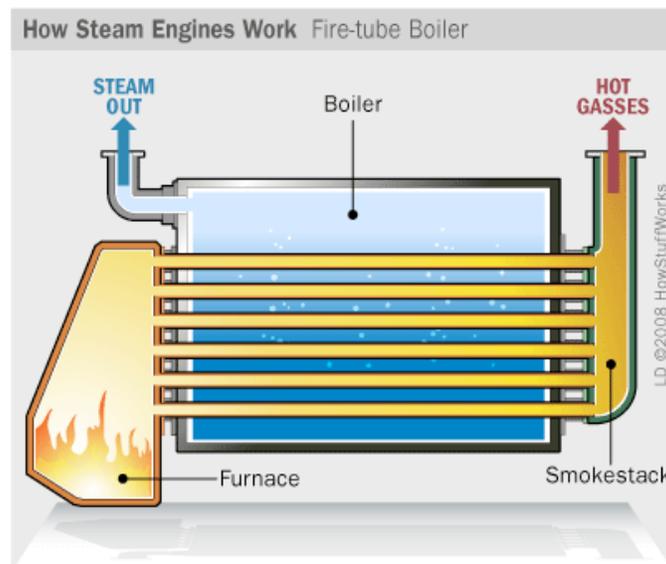


Figura 2. Caldera Piro-tubular

### Ventajas de las calderas piro-tubulares

- Capacidad de soportar fluctuaciones de cargas bruscas y grandes, produciéndose sólo ligeras variaciones en la presión debido a la gran cantidad de agua almacenada.
- Bajo coste inicial.
- Bajo coste de mantenimiento.
- Simplicidad de la instalación que sólo exige la cimentación y el interconexión de la caldera a las redes de agua, vapor, combustible y electricidad de la fábrica.

- Las calderas compactas son más baratas en coste inicial que las acuo-tubulares para la producción de vapor de hasta 25t/h. En condiciones óptimas y a la máxima carga pueden alcanzar un rendimiento de hasta el 90% o más, superior normalmente al de las calderas acuo-tubulares.

### **Inconvenientes de las calderas piro-tubulares**

- Limitación en tamaño por resistencia de la carcasa.
- Tensiones térmicas altas: la diferencia de temperaturas entre ambos lados de los tubos es grande por lo que el flujo térmico a disipar también lo es, provocando envejecimiento anticipado de los materiales.
- **Riesgo de explosión** por el efecto combinado de lo anterior y las incrustaciones, que dificultan la transmisión de calor, puede provocar un aumento excesivo de la temperatura y la presión en el interior de los tubos.

### **1.2.1. TIPOS DE CALDERAS PIRO TUBULARES**

#### **1.2.1.1. CALDERAS HORIZONTALES**

Tiene un cuerpo cilíndrico horizontal, que contiene varios tubos de humo horizontal, con el fuego situado directamente debajo de la cáscara de la caldera.

En estas calderas, para aprovechar el calor de la combustión, los gases están obligados a circular por un haz de tubos de diámetro pequeño sumergidos en el agua.

Se observa que los gases se mueven, en parte de los tubos, en sentido contrario al que tienen en el hogar, de ahí el nombre de calderas con retorno de llama. Este movimiento de retorno provoca turbulencias en la masa gaseosa asegurando combustión completa antes que los gases penetren en el haz tubular, mejorando el rendimiento de la combustión [4].

El “número de pasos” en una caldera de tubos de fuego es un parámetro que se refiere al número de corridas horizontales que los gases realizan entre el horno y la salida de los mismos. La cámara de combustión o el horno se consideran como primer paso; cada conjunto separado de tubos de fuego provee pasos adicionales como se muestra en Figura 3.

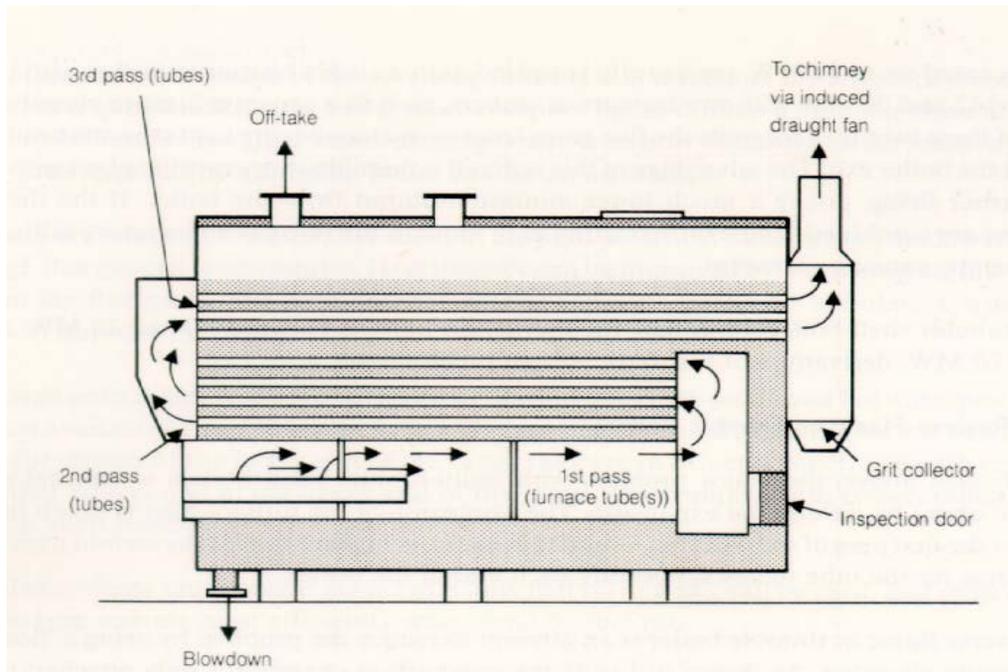


Figura 3. Calderas Piro-tubulares Horizontales

El número de pasos de gases de combustión en una caldera piro-tubular no necesariamente determina su eficiencia característica. Para el mismo número total, longitud y tamaño de tubos (misma superficie de calefacción), el incremento del número de pasos incrementa la longitud que los gases de combustión tienen que viajar debido a que los gases deben pasar a través de los tubos en serie más que en paralelo. Esto incrementa la velocidad de los gases de combustión dentro de los tubos pero hace poco para cambiar el tiempo total en que los gases calientes fluyen desde el horno hasta la salida en contacto con las superficies calefactoras de los tubos.

El incremento en la velocidad de los gases en algunos casos puede mejorar la transferencia de calor incrementando la turbulencia de los gases mientras viajan a través de los tubos. Generalmente, el incremento en el número de pasos y la velocidad resultante de los gases incrementa la resistencia al flujo y fuerza al ventilador de aire a consumir más energía.

### 1.2.1.2. CALDERAS VERTICALES

Este tipo de calderas son ideales para espacios reducidos (tintorerías, lavanderías, planchados industriales, etc.) cuyos requisitos de presión y capacidad entran dentro del alcance de este tipo de caldera [5].

### 1.2.1.3. CALDERAS DE ACEITE TÉRMICO

Las calderas de aceite térmico trabajan bajo el principio de calentar un fluido, el cual es llevado al sitio donde se requiere la calefacción, allí el fluido entrega el calor regresando posteriormente a la caldera para repetir el ciclo. Durante este proceso el fluido no ha cambiado de fase [6].

Estas calderas permiten trabajar en un amplio rango de temperatura desde 50°C hasta 400°C.

El diseño de la caldera de aceite térmico tiene la concepción que garantiza el no sobrecalentamiento sobre el fluido térmico, con las siguientes características:

- La transmisión de calor por convección y radiación se realiza en zonas separadas haciendo posible una definición inequívoca de la temperatura de película máxima en el fluido térmico.
- La forma constructiva de la caldera de aceite térmico hace que la cantidad total de fluido en circulación pase por las caras de calefacción por radiación.
- Las dimensiones de la cámara de combustión son mucho mayores a las requeridas para combustión en condiciones normales permitiendo una combustión perfecta incluso en condiciones deficientes y garantizando que no va a haber ningún contacto entre la llama y las tuberías evitando así cualquier sobrecalentamiento localizado.

Los serpentines de la tubería están diseñados de manera tal que no se generen tensiones internas debido a la dilatación por temperatura.

Las calderas de aceite térmico trabajan a presiones muy bajas y alcanzan temperaturas de servicio normales de 280 a 300 °C, debido al aceite térmico y al hecho de que su calentamiento no comporta un cambio de fase. Otra característica importante que las define es el alto rendimiento global de la instalación que suele oscilar entre el 87 y el 90 %, en función de las temperaturas de trabajo.

Las calderas horizontales que funcionan con agua son las más utilizadas en las industrias.

### **1.3. CONJUNTOS DE ELEMENTOS DE ACUERDO AL REGLAMENTO TÉCNICO DE CALDERAS COLOMBIANO RTC.**

El siguiente listado relaciona unidades, partes, materiales, accesorios y dispositivos de seguridad, regulación y control, utilizados para la generación de vapor y producción de agua caliente o aceite térmico, comercializados que deben cumplir con el RTC y/o con certificaciones de conformidad de calidad. [7]

En la figura 4 se puede observar una caldera la mayoría de la instrumentación requerida por el RTC.

#### **Conjunto de alimentación de agua a la caldera**

- Válvula de control de alimentación. Si
- Motor modulador de la válvula. Si- bomba que envía el agua.

#### **Conjunto de atomización**

- Control presión aire atomización. Si reloj

### **Conjunto de purga**

- Válvula solenoide de purga de fondo.
- Válvula de control de purga de fondo.
- Válvula de control de purga continúa.
- Válvula de cierre rápido SI

### **Conjunto de presión de modulación todo si**

- Interruptor límite de presión.
- Válvula de seguridad.
- Manómetro.

### **Conjunto de control de nivel: SI**

- Control de nivel.
- Nivel visible de vidrio.
- Electrodo control nivel auxiliar.
- Electrodo alto nivel y reposición bomba.
- Columna de agua.

### **Conjunto de combustión tren de combustible líquido:**

Control electrónico:

Todo esto es cuando es mecanico

- Válvula de alivio.
- Válvula moduladora par combustible líquido.
- Motor modulador.
- Actuador válvula control de combustible líquido.
- Válvula solenoide de suministro de combustible líquido.
- Válvula solenoide de retorno de combustible líquido.
- Válvula de tres vías.

### **Conjunto de combustión tren de gas:**

- Válvula mariposa para control.
- Actuador válvula de control.
- Válvula segunda etapa de regulación.
- Manómetros de 0 a 30 in de agua.
- Primera válvula de corte de seguridad.
- Actuador para la primera válvula.
- Segunda válvula de corte de seguridad.
- Actuador para la segunda válvula.
- Válvula de venteo.
- Interruptor de baja presión de gas.
- Interruptor de alta presión de gas.
- Manómetro de gas de 0 a 15 lb.
- Válvula solenoide de corte de gas piloto normalmente cerrada.
- Válvula solenoide venteo de gas piloto normalmente abierta.

### **Conjunto de seguridad de llama:**

- Transformador motor modulador.
- Control de combustión.
- Amplificador para fotocelda.
- Tablero de control.
- Tarjetas de purga.
- Selector de combustibles.
- Selector de control de agua de alimentación.
- Contactores auxiliares para alarma y silenciador.
- Relés de control para nivel de agua.
- Pulsador de alarmas y de reajuste.
- Lámparas pilotos para ignición, combustión de gas, alarmas de bajo nivel y falla de llama.
- Interruptor general.
- Contactores para bombas de agua, de combustible, o compresores de aire, bombas.
- Dosificadoras de agua.
- Guarda motores para bombas de agua, de combustible, o compresores de aire y bombas.
- Arrancadores estrella triángulo para motores.
- Contactores tripolares.
- Bloques temporizados.
- Bloques contactos instantáneos.
- Relés térmicos de sobrecarga.
- Protección termo magnética.
- Mini interruptores automáticos.
- Conmutadores.
- Bloque de contactos auxiliares.

### **Conjunto quemador:**

- Quemador.
- Ventilador.
- Actuador del ventilador.
- Motor del ventilador.
- Boquillas de atomización.
- Fococeldas.
- Fococeldas con auto chequeo.
- Porta mirilla con vidrio.
- Interruptor límite de alto fuego.
- Interruptor límite de bajo fuego.
- Unidad de encendido a gas.
- Transformador de encendido.
- Interruptor de presión de aire de combustión.
- Electrodo.

- Conjunto de transmisores.
- Transmisores de presión, presión diferencial.
- Elementos primarios para tubos pitot (vapor combustible y agua).

**Conjunto PLC:**

- Unidad PLC/programadores de encendido.
- Módulos.

**Tarjetas electrónicas de programadores**

- Fuente de voltaje SI

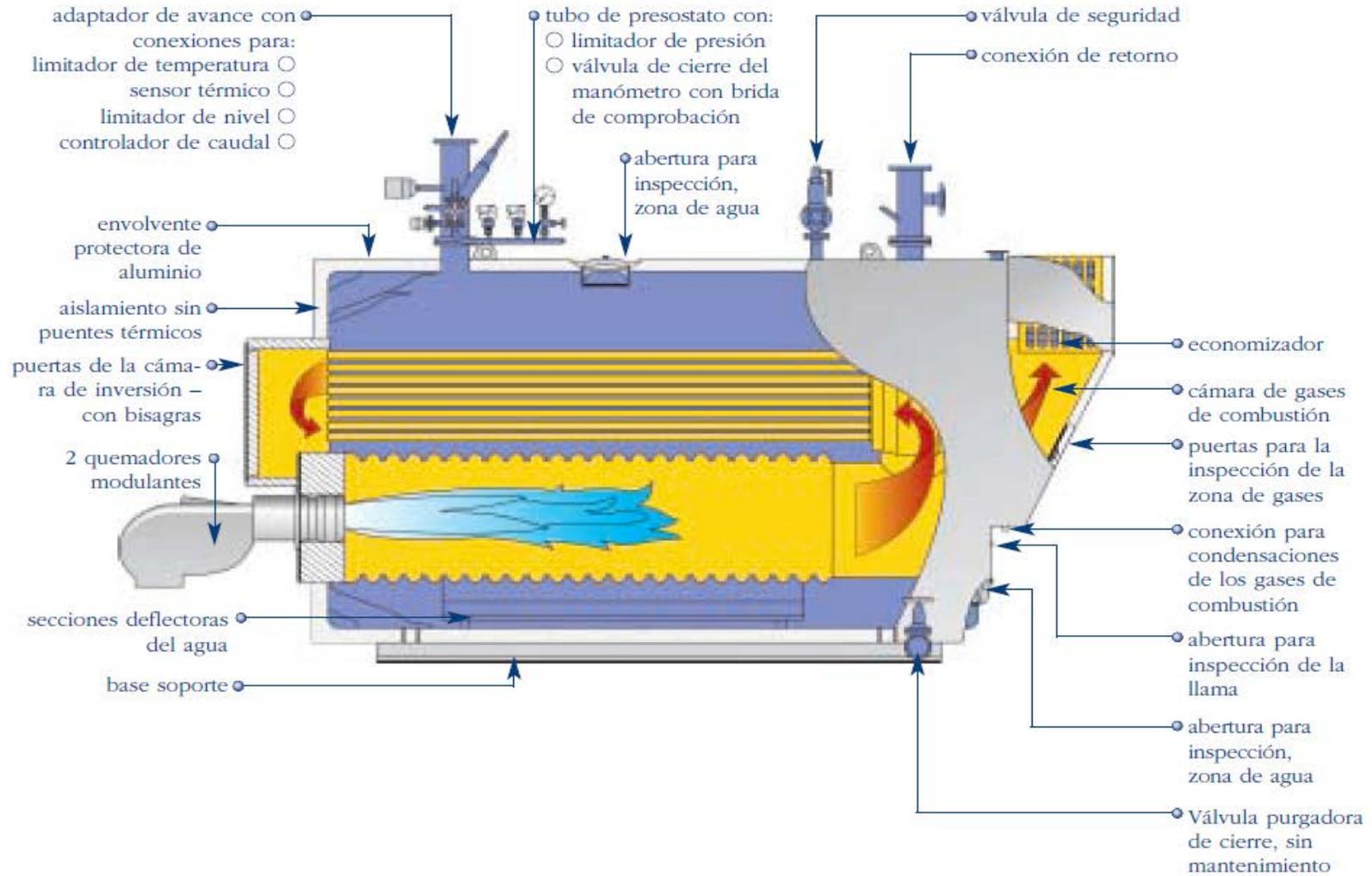
**Conjunto sistema dosificación de químicos: MANUAL**

- Bomba de dosificación
- Motor

**Conjunto otros equipos:**

- Válvula para vapor sin retorno.
- Alarmas sonoras.
- Termómetros en chimenea.

**Caldera pirotubular con un o dos hogares:**



**Figura 4. Componentes de una caldera pirotubular [8]**

#### 1.4. FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA PIROTUBULAR

Una caldera principalmente se fundamenta en calentar agua hasta el punto de ebullición para producir vapor. Conforme se evapora el agua su nivel baja y habrá que suministrar agua para mantener un nivel dado. El nivel del agua puede ser extremadamente sensible a cambios, cuando hay un aumento en la demanda de vapor. El primer propósito de los sistemas de control es mantener el nivel del agua dentro de los límites superiores e inferiores. Si es demasiado bajo, las superficies de calentamiento quedarán expuestas y la caldera se sobrecalentará; si es demasiado alto, el agua podría ser aspirada junto con el vapor resultando en una pobre calidad de vapor y arrastre [9]. El diseño compacto de las calderas modernas implica que la banda de operación es muy angosta. Por lo tanto, un control preciso se ha vuelto imprescindible para un control seguro y eficiente.

Antes de iniciar el funcionamiento de la caldera, se deben tener comprobaciones mínimas como se muestra en la Tabla 2:

ÍTEM	ESTADO
<b>SUMINISTRO DE ENERGÍA</b>	OK
<b>SUMINISTRO DE AGUA</b>	
Presión de suministro	OK
Estado de válvula de admisión	OPEN
Estado de grupo de bombas de admisión	OFF
Nivel de agua en caldera	OK
<b>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE</b>	
Presión de suministro	OK
Nivel de combustible en depósito	OK
Estado del precalentador de combustible	OFF
Temperatura de combustible	OFF
Válvula de admisión llama piloto	CLOSE
Válvula de admisión llama principal	CLOSE
<b>SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.</b>	
Estado soplante (Ventilador)	OFF
Presión de suministro	OK
Barrido completado	NO

Tabla 2. Estado de Caldera antes de operación

##### 1.4.1. PROTOCOLO DE ENCENDIDO Y APAGADO DE UNA CALDERA

1. Cierre de todas las válvulas de suministro y apertura de las válvulas aireadoras para permitir equilibrio de presión dentro de la caldera con presión atmosférica.
2. Purga de la caldera y el tanque alimentador de agua, con apertura de válvulas de purga en las partes inferiores.
3. Apertura de la válvula de suministro de agua a la caldera, comprobando presión y nivel estable para adecuada operación de la caldera.
4. Encendido de todo el sistema de energía de la caldera a través del switch.

5. Encendido del tablero principal de la caldera, seleccionando en los controles el tipo de combustible, el modo de control de agua y reinicio de los controladores para borrar toda la información previamente almacenada.
6. Encendido de la bomba de suministro, el cual debe provenir de un tanque de almacenamiento con tratamiento previo. Para evitar el daño de la bomba es necesario una válvula de no retorno.
7. Precalentamiento del combustible, abriendo la válvula de admisión llama piloto y estableciendo un suministro de aire a través del soplador o ventilador. Cuando la temperatura del combustible haya sido precalentada en el rango adecuado, se enciende la llama piloto para el funcionamiento del quemador principal de la caldera y encenderla. La llama piloto es formada por medio de un transformador eléctrico y una bujía que genera una chispa dentro del túnel.

Con esto el quemador suministra la llama mediante un túnel de fuego que llega hasta la parte posterior y se regresa a un refractario por medio de unos tubos en forma de gases calientes. Los recursos usados salen por una cámara especial y el vapor saturado sale por un tubo específico para suministrar energía a los equipos que lo requieran.

Para hacerle el barrido a los gases se utiliza un dámper de brazo mecánico que manipula una compuerta dentro del quemador.

Luego, cuando sea necesario apagar la caldera, se apaga desde el tablero de control el suministro de agua y de combustible. Se cierran todas las válvulas de alimentación y se apaga todo el suministro de energía de la caldera a través del interruptor principal.

## **1.5. CONTROLES EN LAS CALDERAS PIROTUBULARES [4] ,[7], [10]**

### **1.5.1. CONTROL DE NIVEL DE AGUA DE LA CALDERA.**

El objetivo de este lazo de control es gestionar el balance de masas en la caldera, igualando el caudal de agua de alimentación entrante al caudal de vapor saliente, manteniendo además el nivel en el valor de consigna.

El nivel del agua en la caldera tiene que estar cuidadosamente monitoreado y controlado; además, se deben tomar medidas de previsión para apagar la caldera en el caso de que el nivel de agua baje hasta un nivel inaceptable y se debe generar una alarma por bajo nivel de agua cuando el nivel del agua se encuentre en el mínimo permitido, por encima de su parte inferior visible.

### **1.5.2. CONTROL DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN**

Un control básico para suministrar agua sería un control tipo ON/OFF, para que cuando sea necesario proporcionar agua para el nivel de la caldera se encienda la bomba de alimentación para llegar al nivel deseado, y cuando se logre sea apagada la bomba. Sin embargo, no se puede suministrar agua fría a la caldera, puesto que el punto de ebullición tardaría más, haciendo que el proceso sea más complejo. Para ello es necesario suministrar continuamente agua con un flujo

variable de agua precalentada para mantener la caldera en equilibrio. Al suministrar cuidadosamente el caudal de agua para igualar los cambios de la demanda de vapor, el nivel es mantenido de forma óptima con poca fluctuación. En una caldera se conoce como control modulado teniendo como resultado un caudal de vapor constante, seguro y una caldera balanceada para responder a demandas fluctuantes de vapor.

### **1.5.3. CONTROL DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TDS**

El agua de alimentación de caldera contiene sólidos disueltos con una concentración que va aumentando dentro de la caldera durante la evaporación, así que al hervir el agua se quedan y dejan un residuo. Este aumento debe ser controlado para evitar la formación de espuma, arrastres y contaminación del vapor y del producto final.

La manera más eficiente de llevar a cabo este control es usando un sistema automático que periódicamente purga parte del agua de caldera concentrada y la sustituye con agua de alimentación con un nivel relativamente bajo de TDS.

### **1.5.4. CONTROL DE PRESIÓN DE VAPOR**

Toda caldera de vapor debe estar protegida mínimo por un dispositivo automático de presión que corte el combustible cuando la presión de vapor llegue al límite de presión de operación, que debe ser menor que la presión máxima permisible de trabajo.

### **1.5.5. CONTROL DE LA PRESIÓN DEL HOGAR (CONTROL DEL TIRO)**

La función de este lazo de control es mantener la presión en el hogar constante y ligeramente por debajo de la presión atmosférica, para evitar fugas de gases de combustión hacia el exterior.

Un tipo de control de presión del hogar es el sistema de tiro balanceado (tiro forzado y tiro inducido). El tiro forzado se usa para regular el aire de combustión y el tiro inducido regula la presión dentro del hogar ligeramente por debajo de la presión atmosférica para prevenir escapes de gases. El control se hace con el control de presión variando la velocidad del motor del ventilador de tiro inducido.

### **1.5.6. CONTROL DE TEMPERATURA DE AGUA**

Las calderas se deben proteger por sobre-temperatura con dos controles de temperatura, que deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Un limitador de temperatura que corte el combustible para prevenir que la temperatura del agua exceda la temperatura máxima permisible en la caldera.
- Un limitador de temperatura que corte el combustible cuando la temperatura del agua llegue a la temperatura máxima de operación preestablecida, que debe ser menor que la máxima temperatura permisible.

### **1.5.7. CONTROL DE TEMPERATURA DEL VAPOR SOBRECALENTADO Y RECALENTADO.**

La función de este lazo de control es mantener la temperatura del vapor sobrecalentado y recalentado constante para cualquier nivel de carga de planta.

En las calderas, la producción de vapor y la presión de salida se mantienen constantes con el régimen de fuegos; las temperaturas del vapor sobrecalentado y del recalentado dependen de parámetros básicos de diseño, como las dimensiones de la superficie termo-intercambiadora y la relación entre las superficies de convección y radiación.

Las temperaturas de vapor están afectadas también por otras variables operativas, como:

- El exceso de aire.
- La temperatura del agua de alimentación del ciclo a la entrada al generador de vapor.
- Las variaciones en el combustible que modifican las características de la combustión y las deposiciones de ceniza sobre las superficies termo-intercambiadoras.
- La correcta combinación y disposición de los quemadores que estén en servicio.

En las calderas de proceso directo de presión universal, que tienen una zona variable para el paso del agua a vapor, la producción de vapor, la presión y temperatura del vapor sobrecalentado se controlan coordinando el régimen de fuegos y del flujo del agua de alimentación de la caldera, dejando que la temperatura del vapor recalentado sea la variable dependiente, permitiendo una tolerancia de  $\pm 10^{\circ}\text{F}$  ( $6^{\circ}\text{C}$ ) sobre la temperatura de salida del vapor.

Cuando la carga aumenta, la temperatura y el gasto másico de los gases de combustión se incrementan.

### **1.5.8. PROGRAMACIÓN DEL ENCENDIDO**

En coordinación con los dispositivos de operación, límite y entre conexión, se programa automáticamente cada período de arranque, operación y parada.

Incluye en una secuencia calculada y cronometrada la operación del motor soplador, el sistema de ignición, las válvulas del combustible y motor modulador del registro. La misma secuencia abarca períodos de purga antes de la ignición y al cerrarse el quemado.

### **1.5.9. CONTROL DE COMBUSTIÓN**

El objetivo de este lazo de control es gestionar el balance de energía en la caldera, igualando la energía entrante en caldera a la energía saliente, manteniendo además una reserva de energía en la misma. Esto se logra mediante una mezcla de aire y combustible al quemador a una rata que satisfaga los requerimientos de carga de la caldera bajo condiciones seguras y eficientes.

Se debe generar una alarma por el corte de combustible por muy bajo nivel de agua cuando el nivel del agua se encuentre a 2cm por encima de la parte inferior visible del nivel.

#### **1.5.10. CONTROL DE LLAMA**

Éste es uno de los controles más delicados ya que se debe garantizar el buen manejo y distribución del combustible, de esta manera se obtiene la transferencia de calor adecuada. En este control se debe manejar el paso de combustible, la chispa de encendido y la seguridad de la llama.

#### **1.5.11. SISTEMA DE IGNICIÓN**

Es un sistema de tipo eléctrico que por medio de un transformador de alto voltaje produce la chispa en los electrodos para iniciar la combustión.

#### **1.5.12. CONTROL DE LA PURGA CONTINUA**

Este control debe mantener la conductividad del agua de alimentación a la caldera en un nivel deseado para evitar la formación de depósitos o arrastres de sólidos en el vapor, que pueden ocasionar serios perjuicios tanto a la caldera como a los consumidores del vapor de ésta.

Para mantener los sólidos disueltos en el agua a un nivel aceptable, se dispone de una extracción en la parte baja del calderín, de forma que parte de esta agua se circula hacia un tanque de purga continua.

La cantidad de purga de una caldera viene fijada normalmente como un porcentaje del caudal de agua de alimentación. Con el fin de desperdiciar la mínima energía en calderas con variaciones de carga frecuentes, se puede diseñar el lazo para que trabaje de forma continua usando el caudal de agua como índice de la posición de la válvula de purga.

#### **1.5.13. CONTROL DEL NIVEL DEL TANQUE DE PURGA CONTINUA**

Este control mantiene el nivel en el tanque de purga en el valor deseado. Al mantener el nivel en su rango de operación se mantiene un sello de agua adecuado por un lado y por otro se asegura la correcta descarga de la purga en el tanque.

### **1.6. RIESGOS EN CALDERAS PIRO-TUBULARES**

Colombia cuenta aproximadamente con 15,000 calderas instaladas para la generación de vapor, las cuales no tienen una intervención clara del estado en la operación, mantenimiento, inspección, vigilancia y control de las mismas. Durante el periodo de Noviembre de 2003 a Noviembre de 2006, se presentaron 18 accidentes de explosión e incendio, ocurridos en sistemas de calderas, con heridos, pérdidas de vidas humanas y bienes materiales. [7]

Como no hay un reporte oficial de las causas de estos accidentes por parte de una organización de inspección industrial; se analiza el reporte de incidentes preparado por la National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors de USA.

La Tabla 3 muestra los resultados del informe de incidentes en calderas preparado por la NationalBoard en el año 2002. [11]

<b>CAUSA DEL ACCIDENTE</b>	<b>NÚMERO ACCIDENTES</b>	<b>DE</b>	<b>PORCENTAJES</b>
Bajo nivel de agua.	359		49,0 %
Error en la operación o mantención deficiente.	262		35,7 %
Diseño o fabricación deficiente.	54		7,3 %
Controles límite.	17		2,3 %
Falla en el quemador.	16		2,2 %
Desconocido/Bajo investigación.	16		2,2 %
Instalación inadecuada.	5		0,6 %
Válvulas de seguridad.	2		0,35 %
Reparación inadecuada.	2		0,35 %
Total.	733		100 %

**Tabla 3. Accidentes en calderas año 2002.**

Los accidentes más frecuentes (sobre el 85 %) tienen relación por bajo nivel de agua y errores de operación o mantención deficiente. Luego, con índices mucho menores, figuran los accidentes asociados a deficiencias en el diseño/fabricación y fallas en los controles y los quemadores.

### **1.7. SISTEMA SUPERVISIÓN/CONTROL DE QUEMADORES (B.M.S.)**

Un BMS es un equipo para monitorear y controlar equipos que queman combustibles durante su arranque, parada y condiciones de operación estable o dinámica. Los objetivos de este sistema son [1]:

- No permitir el arranque en condiciones inseguras
- No permitir operación insegura o el ingreso de combustible en cantidades inapropiadas al horno
- Proveer al operador con información del estatus del proceso
- Parar el proceso si existen condiciones inseguras

La función de un BMS es asegurar la operación del proceso de combustión basado en un controlador programable para el uso en calderas alimentadas por gas o petróleo; el régimen de combustión debe regularse de modo que se eviten cambios bruscos en el aumento o disminución de los alimentadores de aire y combustible. El BMS proporciona un procedimiento seguro para el arranque y corte del flujo de combustible si se detectan las condiciones que afectan la seguridad de la unidad, mediante el control de la tasa de combustión de la caldera, relación combustible-aire, ajuste del aire excesivo y control del equilibrio de tiro [12].

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones mínimas para el funcionamiento del BMS:

- Usar detectores de alta llama de discriminación: sobre todo cuando se trate de calderas de múltiples quemadores, para lograr una correcta detección de la llama del quemador sin confusión con otras fuentes de radiación (paredes del hogar, llamas de quemadores vecinos), porque la continúa salida de gas desde un quemador apagado podrá generar una explosión destructiva.
- Incluirá como mínimo, aunque no estará limitado, las siguientes funciones de seguridad: enclavamientos y temporizado de la purga, disparos de seguridad obligatorios, tiempo de encendidos y vigilancia de la llama.
- Estará limitado a una sola caldera.
- Las secuencias y equipos que causen un disparo, una vez iniciado éste requerirán la acción del operador para restablecer la operación del equipo disparado. No se permitirá que ninguna secuencia lógica o equipo cierre momentáneamente y reabra inadvertidamente las válvulas de combustible.

El BMS se encargará de ejecutar, de una forma segura, todas las secuencias de encendido y apagado de los quemadores e ignitores. En general, se podrían distinguir las siguientes secuencias:

- **Disparos de caldera:** cualquier situación de riesgo para la caldera o el proceso provocará un disparo de la misma. Dicho disparo provocará el cierre de todas las válvulas de corte de combustible.
- **Barrido o purga de caldera:** después de cualquier disparo de caldera se debe realizar un barrido del hogar y de todos sus conductos asociados, con el objetivo de evitar una posible atmósfera con presencia de combustible, debido a pequeñas fugas que puedan causar una explosión en el caso de un encendido.
- **Rearme de caldera.** Una vez que el barrido ha sido finalizado y no hay ninguna condición de disparo. Esta acción produce el reinicio de todas las memorias de disparo, tanto a nivel software (PLC) como hardware, lo que permitirá el encendido del quemador. El relé MFT es un relé de seguridad

que es manejado por el PLC, además de ser des-energizado directamente por los pulsadores de disparo de emergencia. La tensión a todas las válvulas de corte combustible se establece a través de sus contactos, de forma que si el relé MFT está des-energizado no es posible la apertura de dichas válvulas.

- **Encendido y apagado de los quemadores e ignitores.** Estas secuencias se encargarán de la puesta en servicio de los quemadores, asegurando que todos los permisos necesarios para ello se van cumpliendo adecuadamente. Asimismo, se encargará de la vigilancia permanente del estado de los quemadores, de forma que provocará el disparo de los mismos ante una anomalía en las señales de proceso (pérdida de llama, alta/baja presión de combustible etc.), cortando inmediatamente la aportación de combustible al hogar.

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. NFPA 8501-1997. "Standard for single burner boiler operation". [Acceso en Octubre 10 de 2011].
- [2]. Canal de Eficiencia Energetica – Empresas. "Calderas". Disponible en <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/calderas#ancla> [Acceso en 15 de octubre de 2011]
- [3]. Villajulca José Carlos. "Curso control de calderas". Instrumentación y control. Disponible en: <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/cursos-libres/automatizacion/curso-control-de-calderas>. [Acceso el 20 de octubre de 2011].
- [4]. Spirax Sarco. "Guía de referencia Técnica - Calderas y Accesorios". Spirax Sarco. Disponible en: [http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm\\_04.pdf](http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf). [Acceso el 21 de octubre de 2011]
- [5]. Gonzalo Geovanny, Morocho Piña, "Diseño de un caldero pirotubular, simulación del control y calibración basado en el Analisis Orsat Mediante Labview". Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/800>. [Acceso 21 de octubre de 2011]
- [6]. Industrias Proton Ltda. Calderas de aceite térmico. Colombia. Disponible en [http://www.proton-colombia.com/es/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage\\_new.tpl&product\\_id=26&category\\_id=12&option=com\\_virtuemart&Itemid=4&vmcchk=1&Itemid=4](http://www.proton-colombia.com/es/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage_new.tpl&product_id=26&category_id=12&option=com_virtuemart&Itemid=4&vmcchk=1&Itemid=4). [Acceso 21 de Octubre de 2011]
- [7]. Ministerios de Protección Social y de Minas y Energía. "Reglamento Técnico de Calderas Para Colombia". Disponible en: <http://responsabilidadintegral.org/administracion/circulares/archivos/reglamento%20tecnico%20calderas.pdf>. [Acceso 18 de Febrero de 2012].
- [8]. Loos International – Sistema de Calderas. "Calderas de agua sobrecalentada". Loos Bosch Group. Disponible en: [http://www.loos.de/pdf/broschueren/Heisswasser\\_sp.pdf](http://www.loos.de/pdf/broschueren/Heisswasser_sp.pdf). [Acceso 20 de Febrero de 2012]
- [9]. Gener Santiago, Ojeda Manuel. "Funcionamiento de una caldera pirotubular 2010". Universidad Industrial de Santander. [Acceso 23 de Febrero de 2012]
- [10]. Jorge Luis de León Roque. "Guía de prácticas de laboratorio en calderas pirotubulares de cuatro pasos para el curso de plantas de vapor. Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0485\\_m.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0485_m.pdf). [Acceso 15 de Septiembre de 2011]
- [11]. Arnulfo oelker behn. "Accidentes en Calderas". Thermal engineering Ltda. Disponible en: [http://www.thermal.cl/prontus\\_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo\\_accidentes\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo_accidentes_en_calderas.pdf). [Acceso 20 de Septiembre de 2011].
- [12]. SistemasDACS S.A. Especialistas en Sistemas Instrumentados de Seguridad. "Aplicaciones en Hornos y Calderas". Disponible en: <http://www.dacs.com.ar/Boilers.html>. [Acceso 23 de Septiembre de 2011]